



TITLE:

# 太陽活動と高層大気の長期変化(地球側)

AUTHOR(S):

新堀, 淳樹; 林, 寛生; 上野, 悟; 磯部, 洋明; 浅井, 歩;  
横山, 正樹

---

CITATION:

新堀, 淳樹 ...[et al]. 太陽活動と高層大気の長期変化(地球側). 2010

ISSUE DATE:

2010-12-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/141832>

RIGHT:

/ This is not the published version. Please cite only the published version. この論文は出版社版ではありません。引用の際には出版社版をご確認ご利用ください。

第160回生存圏シンポジウム 2010年12月20日

IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究  
Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork

# 太陽活動と高層大気の長期変化 (地球側)

- 新堀淳樹、林寛生 (京大RISH)
- 上野悟 (京大天文台)
- 磯部洋明、浅井歩 (京大宇宙総合)
- 横山正樹 (和歌山大宇宙教育)

# 1. はじめに

## 1.1 地磁気変動の要因とその種類

### (1) 地球内部の核の対流運動(地球内部電磁気学)

永年変化、地球磁場減少、地磁気逆転

### (2) 太陽活動との関わり(超高層大気物理学、宇宙気候学)

○太陽放射：電磁波

(中性大気の電離、大気潮汐、地磁気日変化)

⇒太陽活動周期と超高層大気変動

○太陽風：物質

(磁気嵐・オーロラ活動)

⇒太陽自転周期、11年活動周期との関連性

### (3) 地殻の活動(地震学・火山物理学、地球物質科学)

火山・地震活動との関連性

プレートテクトニクス



# 1. はじめに

## 1.1 地磁気変動の要因とその種類

### (2) 太陽活動との関わり

#### ○太陽放射を駆動源とする地磁気変動

擾乱の少ない磁氣的静穏時の地磁気日変化:

**Sq (Geomagnetic Solar daily Quiet variation)**

発生要因:

**電離圏高度の中性風が荷電粒子を磁場を横切った方向に  
引きずることで駆動される電離圏電流**

Stewart[1883]:

地磁気変動の原因は地球の超高層大気を流れる電流である  
という仮説を提唱

Chapman and Bartels[1940]:

数学的に完全な電離層ダイナモ理論体系の構築

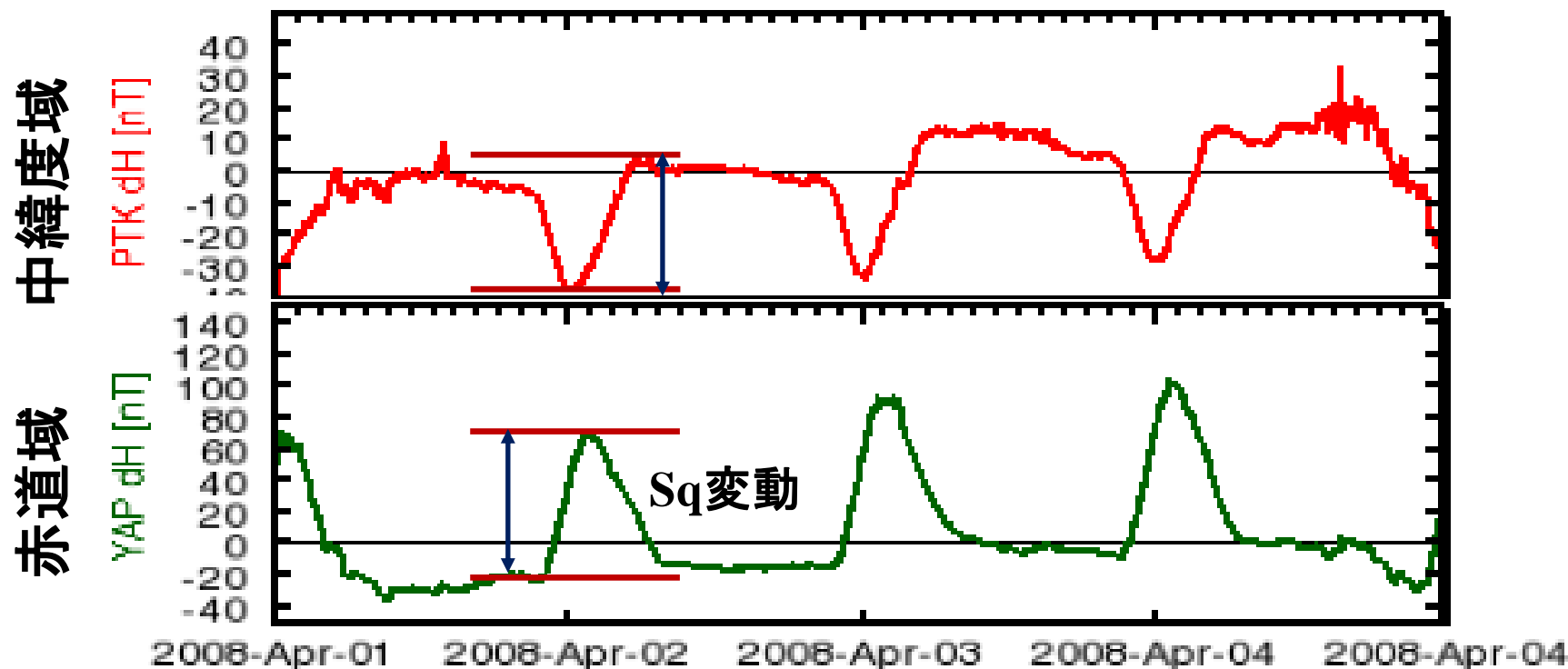
# 1. はじめに

## 1.2 地磁気静穏日変動の要因

### (1) Sq変動の観測例

2008/04/04

UDAS-GUIで作成



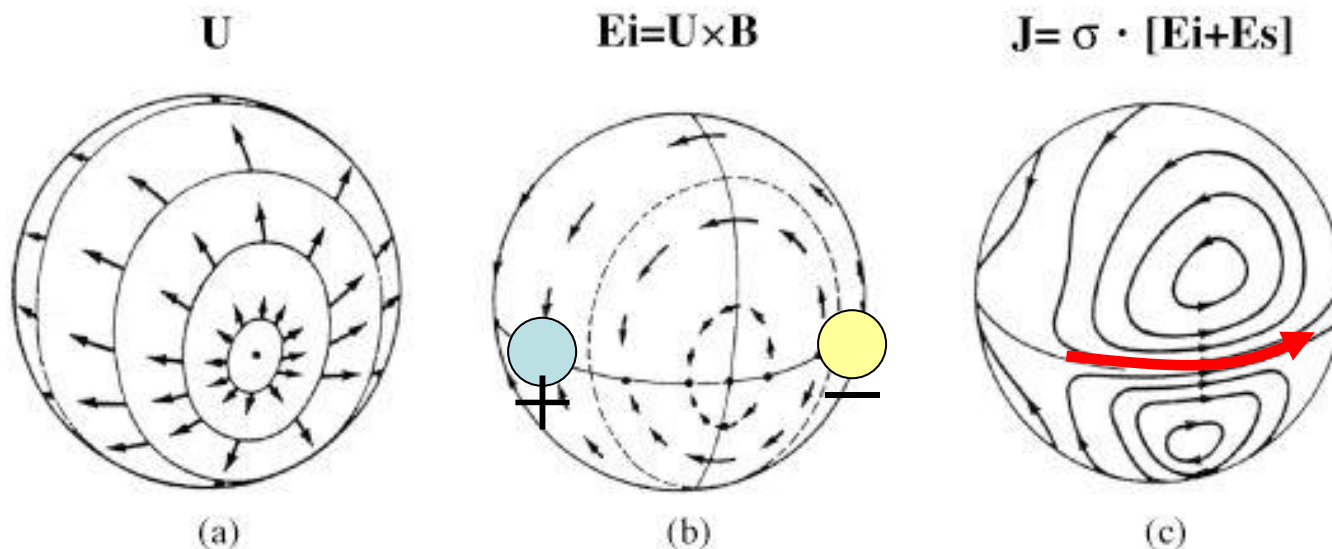
中緯度: 水平成分の負の変動⇒西向き電流

磁気赤道(熱帯域): 水平成分の正の変動⇒東向き電流

# 1. はじめに

## 1.2 地磁気静穏日変動の要因

### (2) Sq変動のメカニズム



- (1) 電離圏高度の中性大気の大気潮汐運動Uが太陽放射等で駆動(a)。
- (2) この運動に伴い電離圏の荷電粒子が地球磁場Bを横切る動きUによって、誘導起電力 $E_i$ が発生(b)。
- (3)  $E_i$ による電荷の移動により、朝側に正電荷、夕方側に負電荷が蓄積され、分極電場 $E_s$ が発生(c)。
- (4) その結果、電離圏内にオームの法則に従う電流Jが流れる(c)。



# 1. はじめに

## 1.3 地磁気静穏日変動の振幅を決めるもの

○Sq場の振幅←電離圏電流の大きさ

←電離圏電気伝導度＋地球磁場強度＋風速

$$\mathbf{J} = \Sigma \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{U} \times \mathbf{B})$$

○電離圏電気伝導度←地球磁場強度＋太陽放射

$$\Sigma_P = \int_{h_1}^{h_2} \left[ \frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne}^2}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni}^2}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

$$\Sigma_H = \int_{h_1}^{h_2} \left[ \frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne} \Omega_e}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni} \Omega_i}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

$\Omega$ ←磁場強度に比例、イオン種に反比例

$v$ ←中性大気密度に比例(スケールハイトに関係)

$n_e, n_i$  ←太陽放射強度に比例



# 1. はじめに

## 1.4 地磁気静穏日変動からわかること

### ○電離圏の状態変化: 電離圏伝導度( $\Sigma$ )の変化を捉える

太陽活動依存性＝太陽放射(UV/EUV)の11年周期性

季節依存性＝地球の自転軸の傾きの効果

地球磁場の永年変化＝外殻の対流運動

地球温暖化の影響＝電離圏の高度変化、電子密度変化

### ○中間圏・熱圏の状態変化: 起電力( $U \times B$ )と $\Sigma$ の変化を捉える

中緯度の南北風の変化＝起電力( $U \times B$ )の変化

赤道(熱帯域)の東西風の変化＝ $\Sigma$ の変化

⇒AO(中緯度)、SAO、QBO(熱帯)、太陽活動: 自然現象

地球温暖化の影響: 人為現象





## 2. 本発表の趣旨

IUGONETプロジェクトに属する2機関(京大地磁気センター・生存圏研究所)が保有している長期の地磁気、及び熱圏・中間圏における中性風データを用いて、Sq振幅の長期変動の以下の事項を明らかにする。

(1) どのような太陽活動依存性があるか？

○太陽放射と電離圏伝導度との関係

(2) 太陽活動22と23周期の極小期における違いはあるか？

○異なる極小期の電離圏の状態の違い

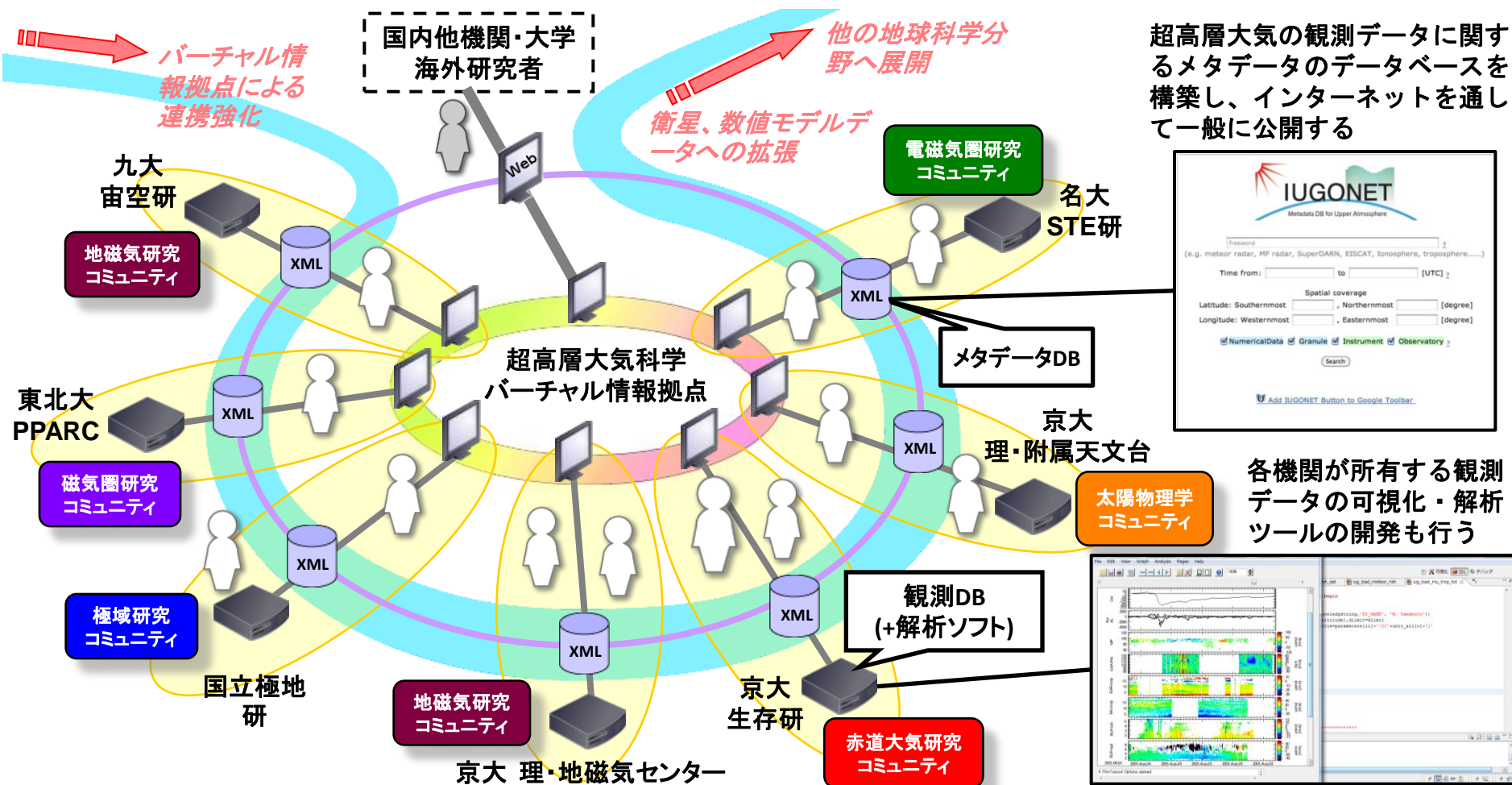
(3) 熱圏風速とSq場の振幅にはどのような関係があり、その風速には太陽活動依存性はあるか？

京都大学(RISH・理学研究科)、名古屋大学、九州大学、東北大学、国立極地研究所による大学間連携プロジェクト

多様で膨大な量の観測データが分散して存在

メタデータ(メタ情報)のデータベースで横断検索を可能に

分野を横断したデータの総合解析による新しい研究を促進



## 3. 解析手法

### 3.1 使用観測データ

地磁気データ(1時間値、1950年以降のデータ): 京大WDC

地磁気指数(Kp指数、1932年-2010年): 京大WDC

太陽F10.7フラックス(1947年-2010年): NGDC/NOAA

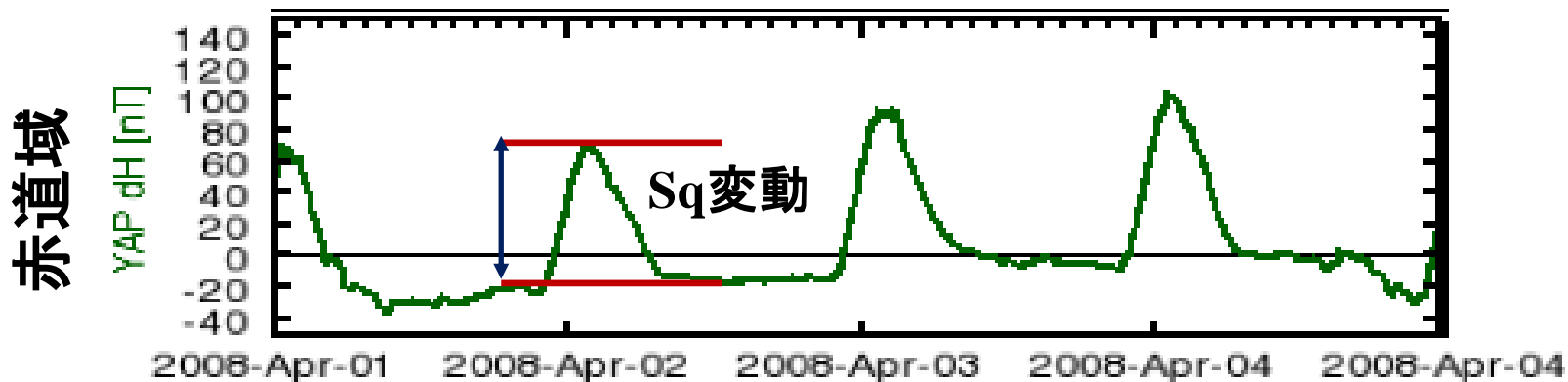
熱圏下部中性風(1日平均値): 京大RISH

### 3.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

○地磁気静穏日: Kp指数の一日の総和が24以下

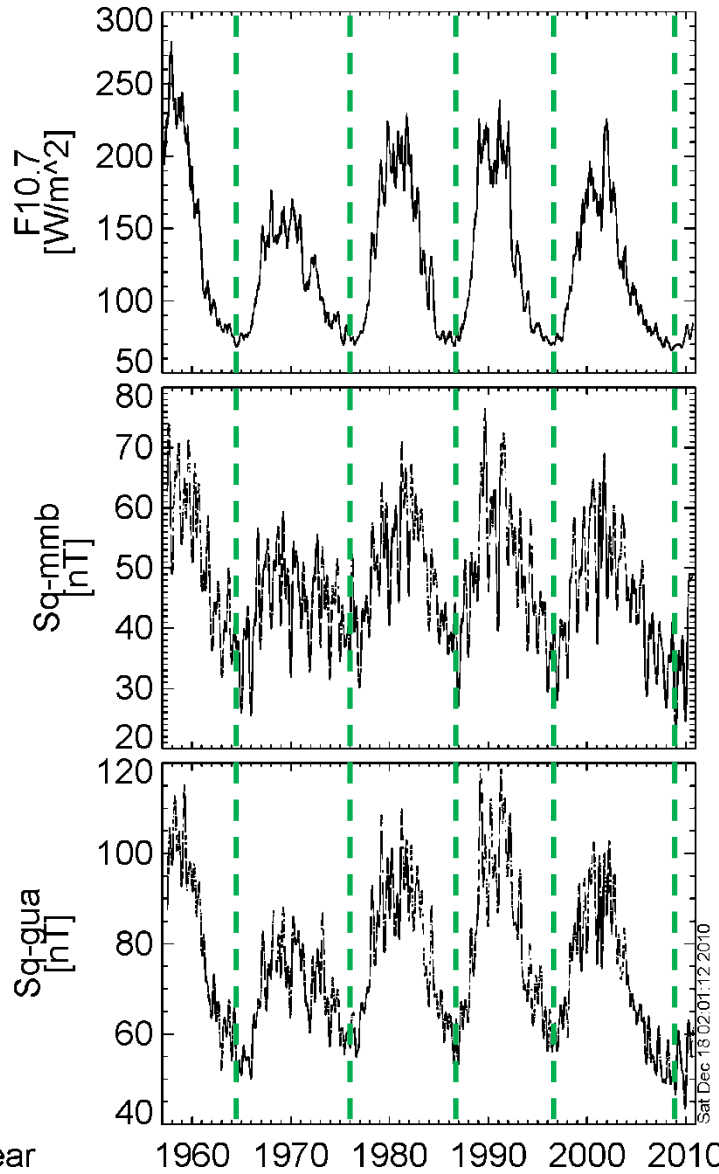
○Sq振幅: 一日の変化の最大と最小の差

○太陽活動依存性の除去: 2次回帰曲線からのずれを計算



## 4. 解析結果

### 4.1 地磁気日変化の長期変化(太陽活動との比較)



上段: 太陽F10.7フラックス

中段: Sq場の振幅

観測点: 女満別(MMB)

(43.91N, 144.19E)

下段: Sq場の振幅

観測点: グアム(GUA)

(13.59N, 144.87E)

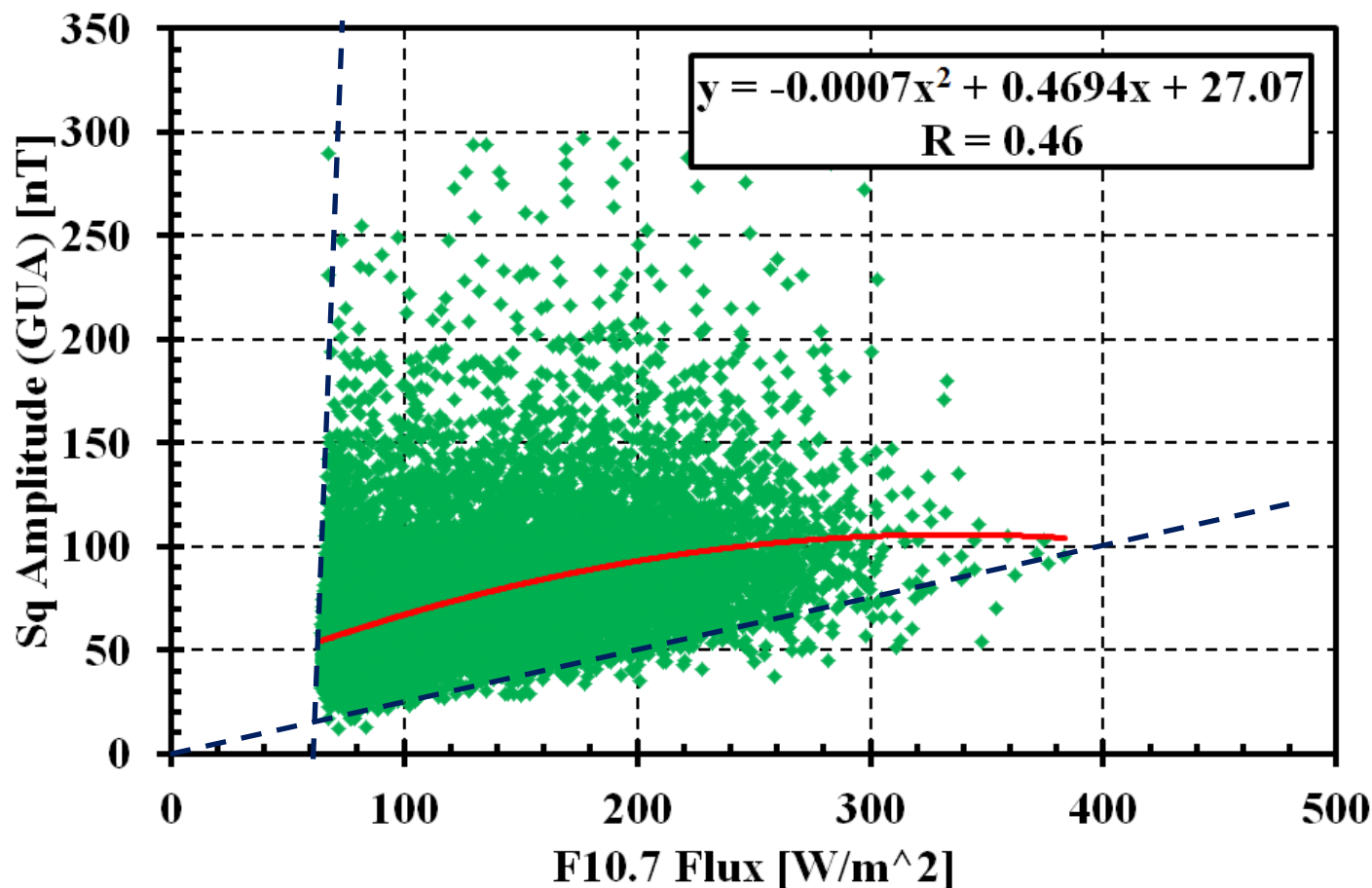
※90日の移動平均値

※太陽活動11年周期変動に呼応してSq場の振幅が変化する

太陽放射強度に電離圏伝導度の大きさが比例

## 4. 解析結果

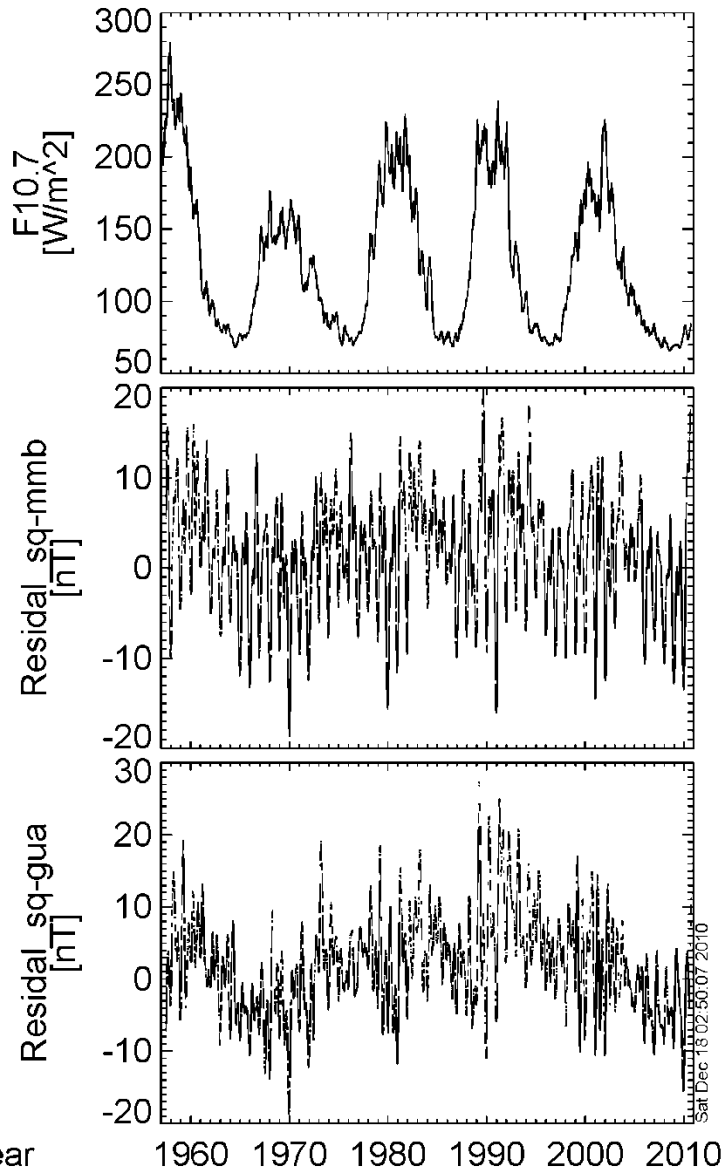
### 4.2 太陽F10.7フラックスとSq振幅の関係



回帰曲線からのずれの変化が**太陽活動(11年周期成分)以外**を因子とする**成分**(季節変化、電離圏、熱圏の長期変化)を表す

## 4. 解析結果

### 4.3 地磁気日変化の長期変化(太陽活動11年周期成分を除去)



上段: 太陽F10.7フラックス

中段: Sq場の振幅

観測点: 女満別(MMB)

(43.91N, 144.19E)

下段: Sq場の振幅

観測点: グアム(GUA)

(13.59N, 144.87E)

※90日の移動平均値

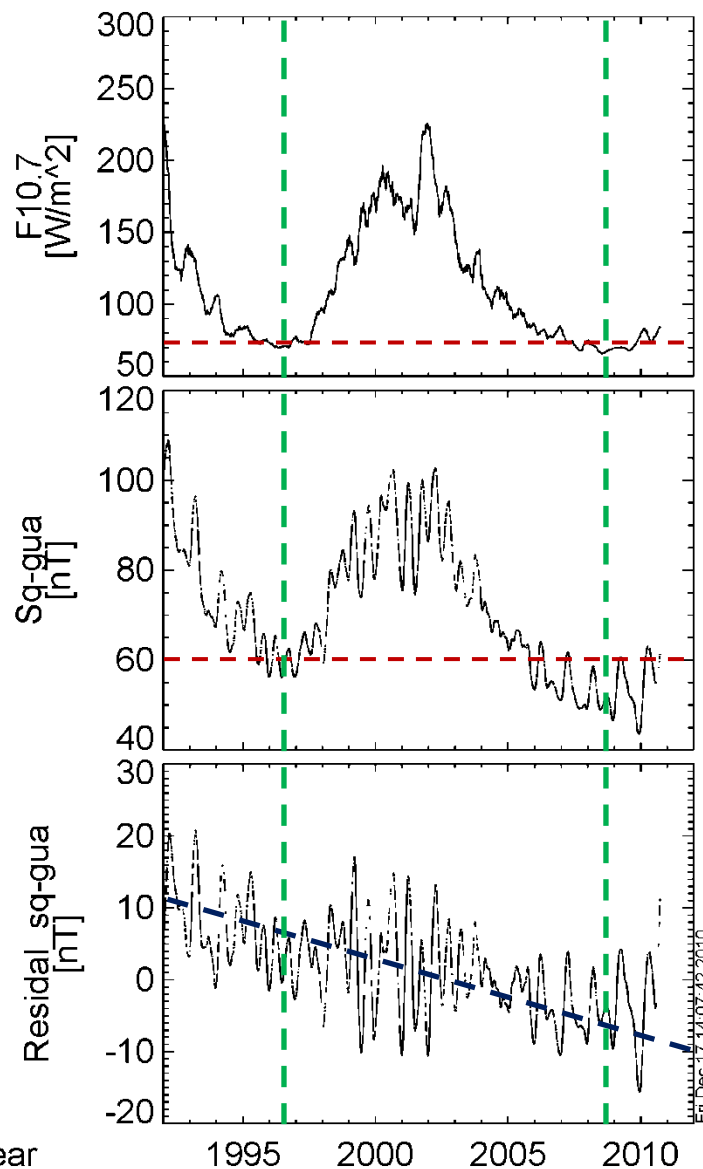
※1970-1990年: **増加傾向**

1990-2010年: **減少傾向**

**2010年のレベルがほぼ1970年の  
ものと等しい**

## 4. 解析結果

### 4.4 太陽活動22、23周期の極小期におけるSq振幅の違い



22周期の極小: 1996-1997年

23周期の極小: 2008-2010年

※F10.7フラックス値:

5-10 $[\text{W/m}^2]$ の減少量

全体の変動量の1.5-3.0%

※Sq場の振幅:

10nT以上の減少量

全体の変動量の10-20%

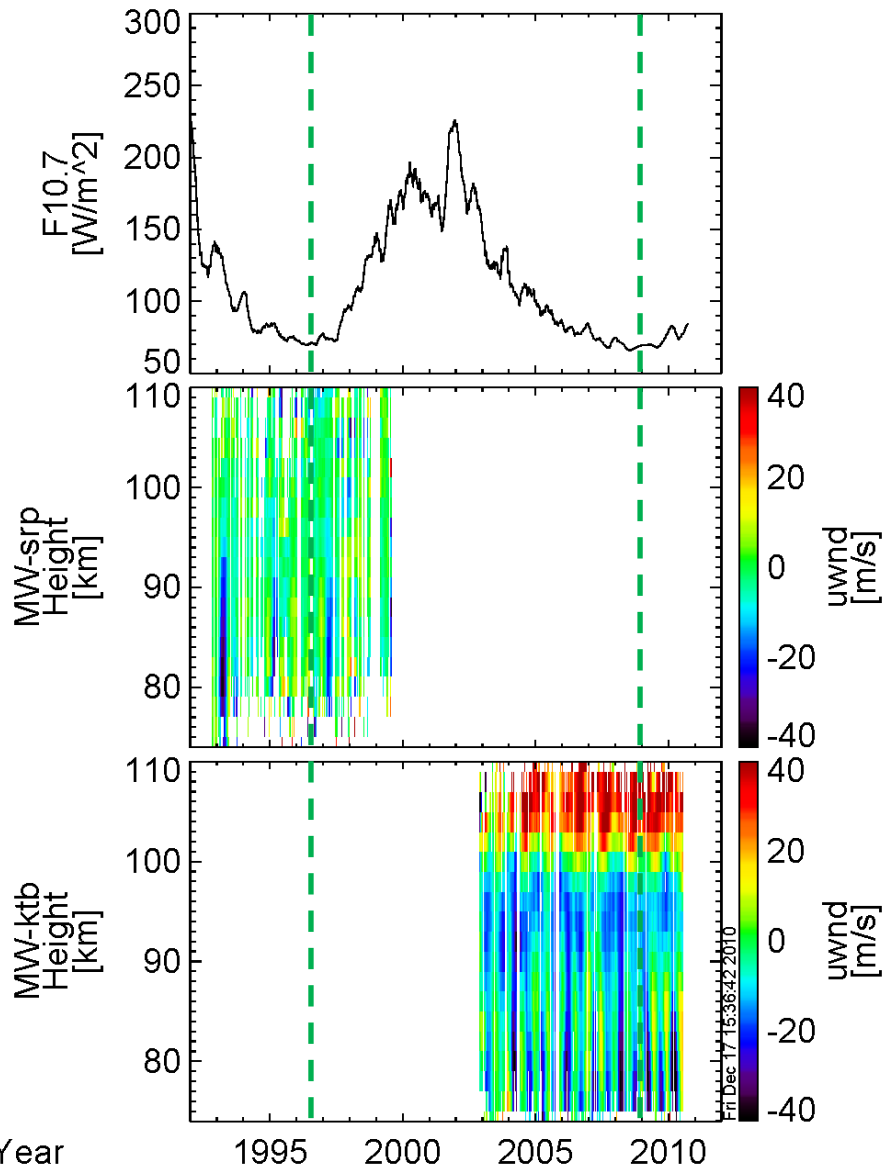
※太陽活動を差し引いたSq場の振幅の経年変化は負の変化を示す

今極小期で最小



## 4. 解析結果

### 4.5 太陽活動22、23周期の極小期の熱圏風速とSq振幅の違い



上段: 太陽F10.7フラックス

中段/下段: 熱圏東西風

観測点: スルポン

コタババン

※90日の移動平均値

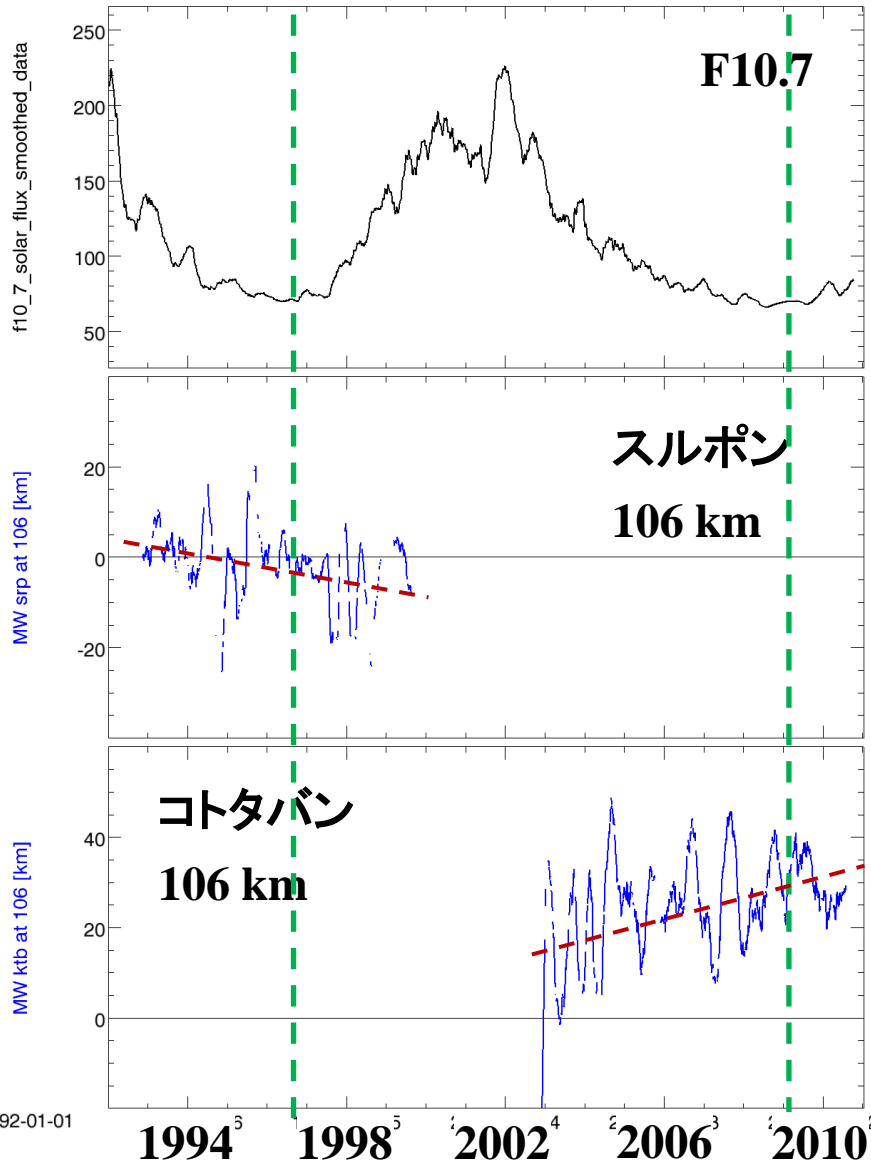
※太陽活動22、23周期の極小期の熱圏下部・中間圏の東西風速を比べると明らかに異なる

平均場のオフセットがコタババンの風速分布に見受けられる



## 4. 解析結果

### 4.5 太陽活動22、23周期の極小期の熱圏風速とSq振幅の違い



上段:F10.7フラックス

中段/下段:熱圏東西風

観測点:スルポン

コタバン

高度:106 km

※二つの極小期で**右下がり**と**右上がり**のトレンドが高度106kmの東西風速にみえる

太陽活動依存性?

観測装置の違い?

## 5. 考察

### 5.1 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由

○Sq場の振幅←電離圏電流の大きさ

←電離圏電気伝導度＋地球磁場強度＋風速

$$\mathbf{J} = \Sigma \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{U} \times \mathbf{B})$$

○電離圏電気伝導度←地球磁場強度＋太陽放射

$$\Sigma_P = \int_{h_1}^{h_2} \left[ \frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne}^2}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni}^2}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

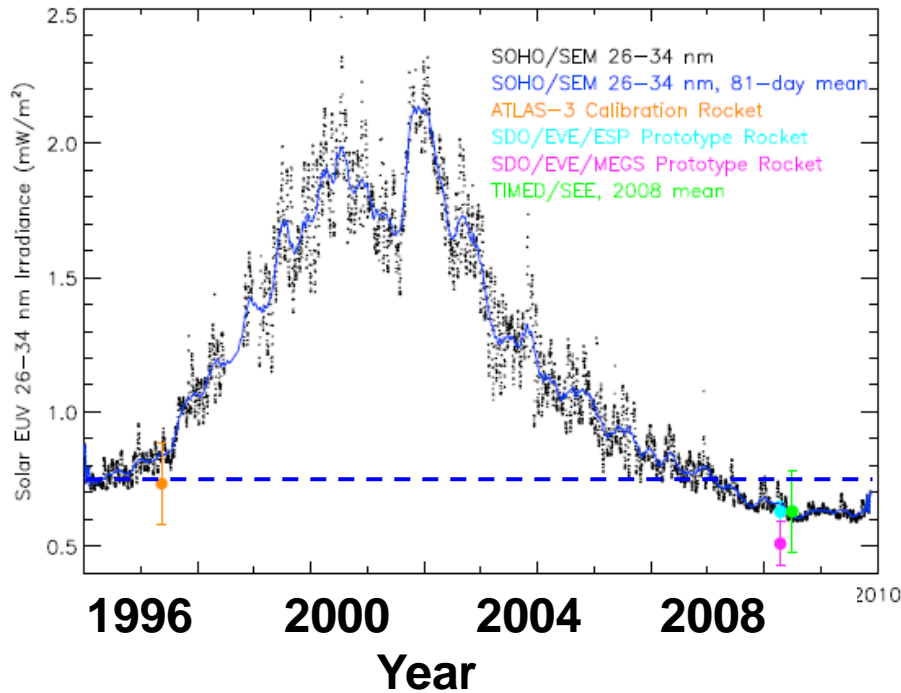
$$\Sigma_H = \int_{h_1}^{h_2} \left[ \frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne} \Omega_e}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni} \Omega_i}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

$\Omega$ ←磁場強度に比例、イオン種に反比例

$v$ ←中性大気密度に比例(スケールハイトに関係)

$n_e, n_i$  ←太陽放射強度に比例

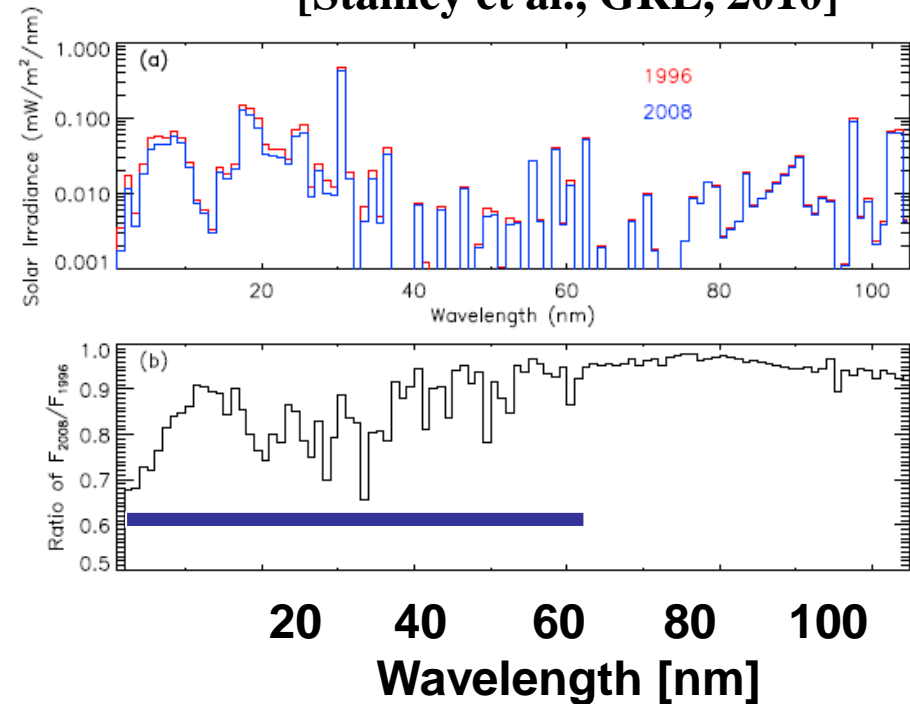
## 5.2 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由



太陽23サイクルにおける24-34nmのEUV変動

1996年と比べて2008年のフラックス値が15%程度減少

[Stanley et al., GRL, 2010]

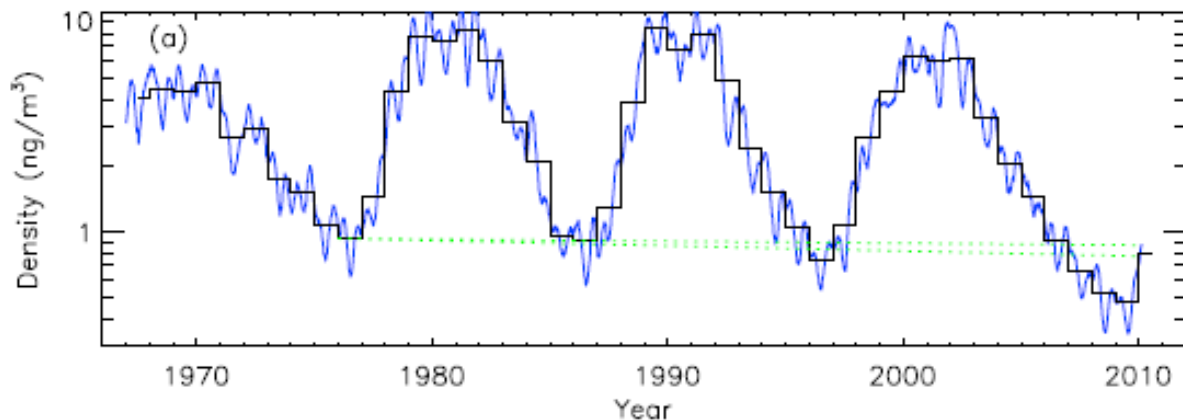


1996年と2008年における太陽EUVフラックスの比

60 nm以下の波長領域で減少量が大きいことがわかる

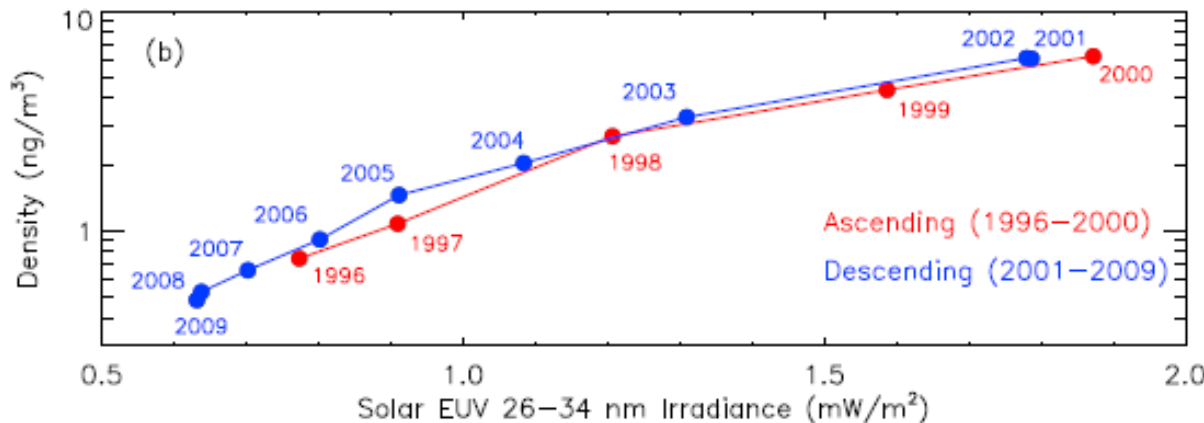
## 5. 考察

### 5.3 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由



[Stanley et al., GRL, 2010]

上段: 高度400kmにおける衛星観測に基づく熱圏大気密度の年変動



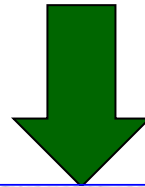
下段: 太陽EUVを関数として熱圏大気密度をプロット

太陽23サイクルの極小期における熱圏大気密度は、**前サイクルのものよりも約20%小さく**、CO<sub>2</sub>大気増加に伴う寒冷化の影響よりもはるかにその変化は大きい。

## 5. 考察

### 5.4 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由

23周期の極小期は、熱圏大気の電離やその密度分布を決める**太陽EUV(60nm以下)フラックスが前サイクルのものよりも低く、減少した期間が長い**ために、地球大気に降り注ぐ放射エネルギーがかなり低いことが特徴である



電離圏の電子密度が低くなるばかりか、中性大気密度が減少するため、電離圏電気伝導度が減少し、電離圏電流が流れにくくなる

⇒**電子密度と衝突周波数の両方が変化**

その結果、Sq場の振幅が減少する

ただし、**熱圏大気の温度分布が変化するため、大気の循環が変化し、Sqの起電力(UXB)に影響がでる可能性もある**

## 6. 結論

- 1957年から2010年までの長期の期間における太陽F10.7放射フラックスとIUGONETの保有する地磁気、及び熱圏・中間圏風速のデータを用いて、地磁気静穏日変化(Sq)の振幅の太陽活動依存性とその長期トレンドの解析を行った。その結果、以下のような結果が得られた
1. Sq場の振幅は、**太陽活動11年周期に同期して変動**し、太陽放射フラックス(F10.7)が最大となる極大期には、Sq場の振幅が増大する。
  2. 太陽活動11年周期と差し引いたSq場の振幅の長期変動は、1990年を境に増加から減少に転じる傾向を示す。特に、太陽活動22と23サイクルの極小を比べると、Sq場の振幅が10%程度減少する。**その減少量は、F10.7の減少量に一致せず、EUVフラックスの減少量に一致する。**
  3. 熱圏・中間圏における風速変動も太陽22と23サイクルの極小期で分布が大きく異なる。その要因は、今のところ不明。